



# SolarPega & SolarPegaF Series

Manual de Operación y Mantenimiento del Módulo Fotovoltaico Semirrígido

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

Fecha de Publicación: 2026-05-09 | Versión: ZKFN-ATSD-LG-OMM-342

## Índice

1. Resumen del Manual, Derechos y Responsabilidades .....	- 3 -
1.1 Alcance de Aplicación .....	- 3 -
1.2 Exención de responsabilidad .....	- 3 -
1.3 Alcance de la responsabilidad .....	- 3 -
1.4 Términos de garantía.....	- 4 -
1.5 Información de Soporte Técnico .....	- 4 -
2. Procedimientos Operativos de Seguridad para O&M .....	- 4 -
2.1 Advertencias Generales de Seguridad.....	- 4 -
2.2 Requisitos de Seguridad del Personal de O&M.....	- 5 -
2.3 Actividades de O&M Prohibidas.....	- 6 -
3. Especificaciones de inspección de O&M .....	- 7 -
3.1 Requisitos generales de O&M .....	- 7 -
3.2 Frecuencia y Elementos de Inspección.....	- 9 -
3.3 Inspecciones Especiales.....	- 10 -
4. Limpieza de Módulos Fotovoltaicos .....	- 11 -
4.1 Determinación de la Frecuencia y el Momento de Limpieza .....	- 11 -
4.2 Requisitos de calidad del agua de limpieza .....	- 11 -
4.3 Procedimiento estándar de limpieza.....	- 11 -
4.4 Requisitos de Inspección Posterior a la Limpieza.....	- 12 -
5. Diagnóstico de Fallos Comunes y Solución de Problemas.....	- 13 -
5.1 Degradación Anormal de la Potencia del Módulo.....	- 13 -
5.2 Efecto de Punto Caliente en el Módulo.....	- 14 -
5.3 Fallas en el Cableado y Conectores de los Módulos.....	- 15 -
5.4 Diagnóstico de Fallos en el Lado del Inversor y a Nivel de Cadena.....	- 16 -
6. Reparación y Reemplazo de Módulos .....	- 16 -
6.1 Requisitos Generales para el Reemplazo de Módulos .....	- 16 -
6.2 Procedimiento de Reemplazo para Módulos Montados con Adhesivo .....	- 17 -
6.3 Procedimiento de reemplazo para módulos montados con abrazaderas/soportes.....	- 18 -
6.4 Verificación del Sistema Después del Reemplazo del Módulo.....	- 19 -
7. Medidas de Respuesta a Emergencias .....	- 19 -



7.1 Respuesta de Emergencia ante Fugas Eléctricas en Módulos.....	- 19 -
7.2 Respuesta de emergencia ante incendio de módulos.....	- 20 -
7.3 Respuesta a Emergencias por Clima Extremo .....	- 20 -
8. Gestión de Registros y Archivos de O&M.....	- 22 -
8.1 Sistema de Gestión de Registros de O&M.....	- 22 -
8.2 Clasificación y Archivo .....	- 22 -
8.3 Informe Anual de O&M .....	- 23 -
9. Apéndice .....	- 23 -
9.1 Preguntas Frecuentes (FAQ).....	- 23 -
9.2 Lista de Verificación de Herramientas e Instrumentos Comunes de O&M ..	- 25 -
9.3 Soporte Técnico e Información de Contacto.....	- 25 -
9.4 Notas de Revisión del Manual .....	- 25 -

## **1. Resumen del Manual, Derechos y Responsabilidades**

### **1.1 Alcance de Aplicación**

Este manual es el documento oficial de guía de O&M emitido por Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd. (en adelante, "ZKFN SOLAR") para las series SolarPega (SolarPega, SolarPegaL) y SolarPegaF (SolarPegaF, SolarPegaFL) de módulos fotovoltaicos TOPCon de silicio cristalino rígido y liviano (en adelante, "Módulos"). Este manual cubre todos los aspectos operativos durante todo el ciclo de vida del sistema fotovoltaico después de la puesta en marcha conectada a la red, incluyendo: inspección rutinaria y pruebas especializadas, limpieza de módulos, diagnóstico y localización de fallas, reparación y reemplazo de módulos, respuesta a emergencias y gestión de registros de O&M.

Este manual está destinado a integradores de sistemas, contratistas generales EPC, proveedores de servicios de O&M y personal profesionalmente calificado que participe en la operación y mantenimiento de las series de módulos mencionadas anteriormente. Toda persona responsable de la operación, inspección o reparación de este producto está obligada a leer, comprender completamente y cumplir estrictamente con todas las disposiciones de este manual antes de comenzar a trabajar. El incumplimiento de los procedimientos operativos, las precauciones de seguridad y las especificaciones técnicas establecidas en este manual puede provocar lesiones personales graves o daños materiales. La operación y el mantenimiento de los módulos fotovoltaicos requieren habilidades profesionales y solo pueden ser realizados por personal calificado que posea la certificación adecuada. La entidad de O&M debe proporcionar una notificación por escrito de los aspectos esenciales de seguridad y mantenimiento contenidos en este manual al cliente final.

### **1.2 Exención de responsabilidad**

ZKFN SOLAR se reserva el derecho de modificar este manual sin previo aviso debido a actualizaciones de tecnología de productos, mejoras de procesos o actualizaciones de normas. La versión más reciente de este manual se publicará simultáneamente en el centro de descargas del sitio web oficial de ZKFN SOLAR. Los clientes y las partes de O&M son responsables de verificar de forma proactiva y asegurarse de utilizar la versión más reciente. Cualquier desviación operativa resultante del uso de una versión desactualizada de este manual será responsabilidad exclusiva del usuario.

El incumplimiento por parte del cliente de los requisitos establecidos en el manual de O&M (incluidos los cambios publicados en el sitio web oficial de ZKFN SOLAR durante el período de O&M) durante la operación y el mantenimiento del módulo resultará en la anulación de la garantía limitada del producto proporcionada al cliente.

ZKFN SOLAR no otorga ninguna garantía, expresa o implícita, con respecto a cualquier información contenida en este manual. Los usuarios y el personal de O&M deben realizar estudios técnicos in situ del proyecto para garantizar que los métodos de O&M adoptados cumplan con las leyes, regulaciones y códigos de construcción locales.

### **1.3 Alcance de la responsabilidad**

Independientemente de si la O&M del módulo se realiza de acuerdo con las instrucciones de este manual, ZKFN SOLAR no asume ninguna responsabilidad legal por cualquier daño que surja durante el proceso de O&M (incluidos, entre otros, lesiones personales y daños materiales resultantes de la manipulación del módulo y el mantenimiento del sistema).

En caso de discrepancia entre las diferentes versiones lingüísticas de este manual, prevalecerá la versión en chino.



Este manual se proporciona únicamente como guía operativa de O&M. Ninguna declaración en este manual, ya sea expresa o implícita, constituirá un certificado de garantía.

#### **1.4 Términos de garantía**

Todos los productos de las series SolarPega y SolarPegaF de ZKFN SOLAR están cubiertos por una garantía de producto de 15 años y una garantía de potencia lineal de 30 años. La cobertura específica de la garantía, los procedimientos de reclamación y las cláusulas de exclusión se regirán por el documento de garantía oficial proporcionado en el momento de la compra del producto.

Los materiales auxiliares clave utilizados con los módulos, incluyendo abrazaderas, adhesivos estructurales y conectores compatibles con MC4, deben utilizar modelos de especificaciones recomendados o certificados por ZKFN SOLAR para garantizar la compatibilidad, fiabilidad y seguridad general del sistema. Los daños al producto o al sistema causados por el uso de hardware no certificado no están cubiertos por la garantía.

#### **1.5 Información de Soporte Técnico**

Para obtener documentación de soporte técnico más detallada, coordinación de soluciones específicas para proyectos o asistencia con problemas anómalos de operación y mantenimiento, comuníquese con ZKFN SOLAR a través de los siguientes canales oficiales:

**Línea de Atención:** 400 6768 100

**Correo Electrónico de Soporte Técnico:** [tech-support@zkfnsolar.com](mailto:tech-support@zkfnsolar.com)

**Sitio Web Oficial:** [www.zkfnsolar.com](http://www.zkfnsolar.com)

**Dirección de la Base de Fabricación:** Edificio 1, Xinshenglin, Parque Industrial de Fabricación Inteligente Lvhaihui, Zona de Desarrollo Económico de Jining, Ciudad de Jining, Provincia de Shandong

## **2. Procedimientos Operativos de Seguridad para O&M**

### **2.1 Advertencias Generales de Seguridad**

1. Todo trabajo de operación y mantenimiento (O&M) debe realizarse en pleno cumplimiento de las normativas locales y regionales, así como de las normas eléctricas nacionales o internacionales aplicables.
2. Peligro de descarga eléctrica y quemaduras: Los módulos fotovoltaicos son dispositivos generadores de energía de CC. Cuando sus superficies están expuestas a la luz, habrá tensión de CC presente en los terminales positivo y negativo y en los conectores, incluso si no están conectados a un circuito. La tensión de un conjunto fotovoltaico compuesto por múltiples módulos conectados en serie puede alcanzar niveles que pongan en peligro la seguridad personal. El personal que no haya recibido formación profesional o autorización tiene prohibido tocar los terminales, conectores o partes vivas expuestas del módulo de cualquier manera. El contacto con componentes vivos puede provocar quemaduras graves o descargas eléctricas fatales.
3. Prohibición de operaciones de corte en carga: Antes de realizar cualquier trabajo de reemplazo de módulos, cableado o modificación del sistema, es esencial asegurar primero que tanto el lado de CC como el de CA estén completamente desenergizados, e implementar medidas estrictas de verificación de desenergización y anti-recierre. Está prohibido bajo cualquier circunstancia desconectar conectores o conexiones eléctricas bajo carga. La desconexión en carga generará un arco eléctrico de CC peligroso y destructivo, que puede provocar incendios, daños al equipo y lesiones personales graves.

4. Manejo de módulos dañados: Los módulos que presenten daños en su apariencia durante las inspecciones de O&M (incluyendo, entre otros, penetración en la superficie, agrietamiento, rayones en la parte posterior con penetración, agrietamiento de la caja de conexiones o entrada de agua interna) deben ser aislados inmediatamente y programados para su reemplazo. Los módulos dañados son irreparables y representan un riesgo extremadamente alto de fuga eléctrica y descarga eléctrica, ya que su rendimiento de aislamiento ha fallado por completo. Está prohibido, por cualquier motivo, desmontar módulos, retirar componentes del módulo o modificar el cableado de los diodos de derivación. Las tapas de las cajas de conexiones de los módulos deben permanecer firmemente cerradas en todo momento.
5. Riesgo de cortocircuito positivo-negativo: Está prohibido conectar directamente los conectores positivo y negativo de un solo módulo, ya que esto provocará un cortocircuito en el módulo. Antes de realizar trabajos de O&M, se deben inspeccionar y confirmar que todos los tapones de aislamiento de los conectores o anillos de sellado estén intactos y correctamente colocados, para evitar cortocircuitos causados por fallas de aislamiento, que podrían provocar incendios o riesgos de descarga eléctrica.
6. Límites de parámetros ambientales y eléctricos: El rango de temperatura ambiente de operación estable diseñado para los módulos es de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ . El voltaje máximo de circuito abierto del sistema bajo cualquier temperatura ambiente mínima esperada no debe exceder el voltaje máximo del sistema de CC 1500V indicado en la etiqueta del producto del módulo. Está prohibido operar más allá de los parámetros nominales durante la O&M.
7. Seguridad contra incendios: Si se produce un incendio en el sitio de O&M, en condiciones seguras para hacerlo y sin riesgo para el personal, primero se debe desconectar la fuente de alimentación de todo el sistema fotovoltaico (incluyendo ambos lados de CC y CA). Posteriormente, la extinción de incendios se realizará de acuerdo con los códigos de incendios eléctricos utilizando agentes extintores no conductores como polvo seco o dióxido de carbono. Está prohibido rociar directamente agua o espuma sobre los módulos y el sistema eléctrico sin antes desconectar la fuente de alimentación.
8. Clase de aplicación y advertencia: Esta serie de módulos es de Clase de Aplicación A (equivalente a la Clase de Seguridad II de IEC 61730-1), adecuada para sistemas accesibles al público. Cuando el voltaje de circuito abierto del sistema supere los 50V, según las normativas de seguridad, se deben colocar carteles de advertencia prominentes de "Peligro: Descarga Eléctrica" cerca de los dispositivos de conexión de cadenas y en lugares de fácil acceso, como los inversores.

## **2.2 Requisitos de Seguridad del Personal de O&M**

1. Requisitos de calificación: Todo el personal responsable de la operación, inspección y reparación de sistemas fotovoltaicos debe haber completado la capacitación profesional de O&M de sistemas fotovoltaicos, poseer certificados de calificación relevantes válidos (incluyendo, entre otros, certificado de electricista de baja tensión, certificado de electricista de alta tensión, certificado de trabajo en altura) y estar completamente familiarizado con todas las especificaciones de seguridad en este manual y las normativas gubernamentales locales relevantes.
2. Regla de Trabajo en Parejas: Para minimizar los riesgos asociados con operaciones en solitario (como descargas eléctricas accidentales, caídas desde altura, etc.), todas las inspecciones in situ, limpieza, reparación y trabajos de cableado deben ser realizados

por al menos dos personas trabajando juntas. Quedan prohibidas las operaciones de alto riesgo en solitario.

3. Equipo de Protección Personal (EPP): El personal de operación y mantenimiento (O&M) debe usar correctamente equipo de protección personal certificado durante las operaciones, que incluye, entre otros: guantes protectores antideslizantes, ropa de trabajo aislante de manga larga y calzado aislante antiplastamiento. Al trabajar en bordes de techos o en cualquier área donde exista riesgo de caída (desnivel superior a 2 metros), se debe usar en todo momento un arnés de seguridad con absorbedor de impacto de doble gancho, fijado de forma segura a una línea de vida o punto de anclaje instalado de manera independiente. Además, se deben instalar barandillas o redes de seguridad debajo de la superficie de trabajo.
4. Herramientas y Joyas: Solo se pueden usar durante el trabajo herramientas que cumplan con los estándares de seguridad y estén debidamente aisladas. Está prohibido usar cualquier joya metálica (como relojes, anillos, collares, pulseras, etc.) durante el servicio. Dichos artículos pueden causar conducción de corriente no intencionada que conlleve riesgos de cortocircuito, o pueden rayar la superficie del módulo durante el trabajo.
5. Clima Adverso: Se prohíben las inspecciones, limpieza o trabajos de reparación al aire libre de cualquier tipo bajo condiciones de lluvia, nieve, niebla o tormentas eléctricas, o cuando la velocidad instantánea del viento en el lugar alcance o supere el Grado 4 (aproximadamente 7,9 m/s). Los entornos húmedos aumentan significativamente el riesgo de descarga eléctrica. El personal de O&M debe asegurarse de que todos los módulos, herramientas y puntos de conexión eléctrica estén en condiciones limpias y secas antes de comenzar el trabajo.
6. Control de Área: Se deben instalar señales de advertencia claras y barreras en el sitio de O&M y en las áreas de almacenamiento de módulos. Se prohíbe la entrada de personal no autorizado, niños u otras personas irrelevantes para prevenir accidentes.
7. Protección contra Exposición a la Luz: En todo momento, incluso cuando los módulos aún no estén conectados a un sistema completo, constituyen una fuente de energía mientras estén expuestos a la luz. Está prohibido tocar directamente la caja de conexiones, los extremos de los cables o los contactos metálicos dentro de los conectores con las manos desnudas sin medidas de protección.

### **2.3 Actividades de O&M Prohibidas**

Para garantizar el rendimiento del módulo, la seguridad personal y la validez de la garantía, las siguientes actividades están estrictamente prohibidas durante las operaciones de O&M:

1. Daños Físicos y Recubrimientos: Está prohibido usar objetos afilados para rayar, golpear, doblar o impactar las superficies frontal y posterior de los módulos. Está prohibido aplicar pintura, adhesivos, cinta adhesiva o cualquier tipo de recubrimiento en cualquier área de la superficie del módulo. Está prohibido perforar, cortar o esmerilar cualquier parte del módulo (a menos que se obtenga una confirmación escrita previa del personal técnico profesional de ZKFN SOLAR).
2. Daños en Cables y Conectores: Está prohibido rayar, cortar, aplastar o tirar de los cables y conectores instalados de fábrica del módulo de cualquier manera. Está prohibido exponer los cables y conectores a la luz solar directa o al agua durante períodos prolongados sin la protección adecuada.
3. Manejo inadecuado y presión: Está prohibido levantar, transportar o arrastrar módulos sujetándolos por la caja de conexiones, los cables de salida o los conectores. Los

módulos deben transportarse con ambas manos apoyando la parte inferior. Está prohibido aplicar presión inadecuada, pararse, caminar, trepar o saltar sobre la superficie del módulo. Está prohibido permitir que los módulos choquen, rocen o impacten contra objetos duros o afilados.

4. Concentración artificial de luz: Está prohibido usar espejos, lupas, lentes u otros dispositivos ópticos para concentrar luz solar adicional o luz artificial sobre la superficie del módulo.
5. Inmersión en agua y apilamiento: Está prohibido colocar módulos durante períodos prolongados o de forma permanente en entornos donde pueda acumularse agua o donde estén expuestos continuamente a la humedad. Durante todas las etapas de almacenamiento, manipulación y O&M, está prohibido colocar módulos boca abajo, apilar módulos unos sobre otros o aplicar cargas de compresión a los módulos.
6. Materia extraña en la superficie y sombreado: Está prohibido aplicar adhesivo estructural, sellador o cualquier sustancia extraña en el área efectiva de captación de luz de las celdas del módulo durante la O&M. Una vez finalizada la O&M, todos los cables de salida y cables de puente deben estar enrutados claramente y asegurados de manera confiable. Está prohibido que conductores, abrazaderas u otros objetos sombreen el área efectiva de captación de luz de las celdas.
7. Fuentes de contaminación y fuentes de ignición: Está prohibido instalar salidas de emisión continua o rejillas de ventilación para humos de aceite, polvo o gases químicamente corrosivos alrededor de los módulos. Está prohibido almacenar fuentes de llama abierta o materiales inflamables y explosivos cerca de los módulos.
8. Carga inadecuada: Después de completar las inspecciones de O&M, está prohibido colocar objetos pesados, herramientas u objetos con puntos de apoyo afilados sobre la superficie del módulo, para evitar daños por tensión a largo plazo.
9. Prevención de aflojamiento: Los módulos deben permanecer siempre en una condición de fijación segura para soportar todas las cargas potenciales (incluyendo cargas de viento y nieve). El aflojamiento de los módulos que tire de los cables de conexión, provocando fallos de aislamiento, fugas eléctricas y arcos eléctricos, es una fuente de riesgo significativa para los sistemas fotovoltaicos distribuidos.
10. Prohibición de desmontaje: Está prohibido desmontar módulos o retirar cualquier pieza componente de los módulos. Las cajas de conexiones dañadas y los conectores dañados presentan peligros eléctricos potenciales y peligros de laceración.

### **3. Especificaciones de inspección de O&M**

#### **3.1 Requisitos generales de O&M**

##### **3.1.1 Gestión de Prevención de Sombras**

Durante la operación de módulos fotovoltaicos rígidos ligeros, se prohíbe estrictamente la sombra parcial o total (incluyendo, entre otros, cables, terminales, tapas de ventilación, equipos de monitoreo, inversores, sombras de árboles, muros de parapeto, barandillas, etc.). Durante las inspecciones de operación y mantenimiento, se deben investigar a fondo las nuevas fuentes de sombra y eliminarlas de inmediato.

Después de lluvias o nevadas, se debe inspeccionar la superficie del módulo en un plazo de 24 horas, y se debe enjuagar el polvo acumulado en la superficie del módulo para evitar que el polvo se mezcle con el agua de lluvia formando manchas de barro que permanezcan en la superficie del módulo, causando sombreado localizado severo.

Cumplir con una combinación de inspección rutinaria y pruebas especializadas. Realizar periódicamente un cribado visual para detectar sombras por residuos, integridad de la apariencia del módulo y estado de la caja de conexiones. Eliminar rápidamente los objetos de sombreado localizado, como polvo superficial y excrementos de aves. Implementar medidas efectivas de prevención de sombras y acumulación de polvo para la central eléctrica.

### 3.1.2 Inspección de Seguridad de la Estructura de Montaje

1. Método de Unión con Adhesivo Estructural: En cada inspección, se debe verificar el estado de las áreas unidas para determinar si hay apertura del adhesivo, despegado, levantamiento de esquinas o bordes. Inspeccionar con especial atención la calidad de la unión en las cuatro esquinas y áreas de borde de los módulos. Cualquier anomalía encontrada debe registrarse de inmediato y programarse para reparación.
2. Método de Fijación con Abrazaderas/Sujetadores: En cada inspección, se debe verificar la firmeza de las abrazaderas y sujetadores, así como el apriete de los pernos. Al mismo tiempo, se debe examinar el estado de seguridad de las estructuras de soporte relevantes del edificio. Para los pernos M8 utilizados en el apriete de abrazaderas, el par de apriete debe mantenerse dentro del rango de 15~20 N·m.

Nota: Los módulos rígidos ligeros ZKFN SOLAR pueden ser transitados para mantenimiento bajo condiciones específicas sin causar daños a los módulos, resolviendo los desafíos de acceso en la operación y mantenimiento de módulos ligeros. Para condiciones y requisitos específicos de tránsito, consulte el Manual de Instalación de Módulos Fotovoltaicos ZKFN SOLAR SolarPega y SolarPegaF.

### 3.1.3 Inspección de Seguridad Eléctrica

1. Enfocarse en inspeccionar la integridad del sellado de las conexiones y el apriete de los conectores fotovoltaicos, e investigar si los cables de CC muestran signos de daño, envejecimiento, compresión o tensión.
2. Verifique la consistencia de la especificación y el modelo de los conectores fotovoltaicos. Si los conectores fotovoltaicos utilizados no coinciden con los conectores originales de los módulos fotovoltaicos en especificación o modelo, esto puede causar fácilmente un espacio de ajuste excesivo en la interfaz y fallos en la estructura de sellado, permitiendo que la humedad y el polvo externos invadan la cavidad del conector, provocando oxidación y corrosión de los pines internos, aumento de la resistencia de contacto, lo que lleva a un calentamiento anormal del conector, quemaduras por arco eléctrico y plantea graves riesgos de seguridad.

**Advertencia:** En todo el lado de CC de todo el sistema fotovoltaico, desde los cables de salida instalados de fábrica en los módulos, los puentes fabricados en campo (cables de extensión de cadenas), hasta los terminales de entrada de cajas combinadoras e inversores, en cualquier posición donde se requieran conexiones de enchufe, debe garantizarse que los conectores macho y hembra provengan del mismo fabricante y pertenezcan a la misma serie de modelos de producto.

### 3.1.4 Prevención de Puntos Calientes

Realice inspecciones de termografía infrarroja de forma periódica. Para puntos calientes menores (diferencia de temperatura < 20°C), realice un monitoreo de seguimiento y registre la tendencia de cambio. Los módulos con puntos calientes de alta temperatura severos (diferencia de temperatura ≥ 20°C) deben retirarse inmediatamente del servicio y programarse para su reemplazo. Elimine la operación de módulos con fallas, prevenga

riesgos de incendio por altas temperaturas y garantice una generación de energía segura y estable del arreglo.

### **3.1.5 Prohibición de Desmontaje de Módulos**

Los módulos fotovoltaicos son equipos eléctricos herméticamente integrados, y el desmontaje en campo plantea múltiples riesgos incontrolables. Está estrictamente prohibido que cualquier persona desmonte paneles frontales de módulos, cajas de conexiones, láminas posteriores, celdas internas u otros componentes en el sitio de operación y mantenimiento o durante procesos de reparación. No se permite la eliminación no autorizada de las estructuras de sellado instaladas de fábrica y los puntos de conexión eléctrica del módulo.

## **3.2 Frecuencia y Elementos de Inspección**

### **3.2.1 Elementos de Inspección Mensual**

Se realizará una inspección completa del sistema fotovoltaico al menos una vez al mes por parte de personal de operación y mantenimiento profesional capacitado. Durante las operaciones, el personal de inspección debe usar guantes aislantes de goma y botas aislantes en todo momento. Las inspecciones mensuales incluirán los siguientes elementos:

- ✧ Verificación de Limpieza de la Superficie del Módulo: Inspeccione visualmente la superficie receptora de luz del módulo en busca de polvo, excrementos de aves, manchas de aceite y otros contaminantes; determine si es necesario programar operaciones de limpieza.
- ✧ Inspección de integridad visual de los módulos: Inspeccionar los módulos uno por uno para detectar grietas, roturas, rayones, deformaciones, decoloración, delaminación, burbujas y otras anomalías en la superficie del módulo
- ✧ Inspección de objetos de sombreado: Verificar la presencia de nuevas fuentes de sombra sobre y alrededor de las superficies de los módulos (crecimiento de árboles, nuevas estructuras, acumulación de excrementos de aves, etc.)
- ✧ Inspección de caja de conexiones y conectores: Verificar que las cajas de conexiones estén seguras, las tapas estén bien cerradas, los conectores estén completamente insertados y si hay signos de marcas de quemaduras por arco eléctrico
- ✧ Inspección de cables y cableado: Verificar si los cables de conexión entre módulos están flojos, envejecidos o dañados; si las fijaciones de los cables están en buen estado; y si el tendido de cables cumple con las normas
- ✧ Inspección de la estructura de montaje: Para el método de adhesivo, verificar el estado de unión de los módulos (apertura del adhesivo, despegue, levantamiento de esquinas); para el método de abrazadera, verificar la tensión de las abrazaderas/fijaciones
- ✧ Verificación de datos de monitoreo: Verificar a través del sistema de monitoreo si los datos de corriente, voltaje y potencia de las cadenas están dentro de los rangos normales; marcar las cadenas anómalas

### **3.2.2 Elementos adicionales de inspección trimestral**

Además de completar todos los elementos de inspección mensual, se agregarán las siguientes inspecciones especializadas cada trimestre:

- ✧ Escaneo integral con termografía infrarroja: Utilizar una cámara termográfica infrarroja para realizar un escaneo de puntos calientes en todos los módulos, bloque por bloque, registrando los puntos de temperatura anómala

- ✧ Inspección de fusibles y dispositivos de protección del arreglo: Verificar si los fusibles del lado de CC, los interruptores automáticos y los interruptores de desconexión funcionan normalmente
- ✧ Inspección del Sistema de Drenaje: Verificar que las canaletas de drenaje del techo y las bajantes estén despejadas, y que no haya riesgos de acumulación de agua alrededor de los módulos
- ✧ Inspección del Sistema de Protección contra Rayos y Puesta a Tierra: Verificar que las conexiones de los conductores de bajada a tierra estén seguras y que los valores de resistencia de puesta a tierra estén dentro del rango especificado
- ✧ Verificación Puntual del Par de Apriete de los Conectores: Realizar una reinspección de apriete de al menos el 10% de los conectores para asegurar que no haya aflojamiento

### **3.2.3 Elementos Adicionales de la Inspección Anual**

Además de completar todos los elementos de inspección mensual y trimestral, se debe realizar una inspección exhaustiva en profundidad una vez al año:

- ✧ Prueba de Curva IV: Utilizar un trazador de curvas IV para realizar pruebas de características de potencia en cada cadena o en al menos el 30% de los módulos, evaluando la desviación entre el rendimiento de generación de energía real y los valores nominales
- ✧ Inspección EL (Imagen de Electroluminiscencia): Realizar una inspección EL en los módulos con degradación anormal de potencia para detectar defectos internos como microgrietas en las celdas, dedos de rejilla rotos y soldaduras frías
- ✧ Reinspección del Par de Apriete de Todos los Puntos de Conexión Eléctrica: Realizar una reinspección del par de apriete de todos los puntos de conexión eléctrica del lado de CC (incluyendo conectores, terminales y terminales de la caja combinadora)
- ✧ Evaluación de la Seguridad de la Estructura de Soporte del Techo: Realizar una inspección de seguridad integral de la estructura de carga del techo, los soportes de montaje y los puntos de anclaje, evaluando la presencia de óxido, deformación y aflojamiento
- ✧ Prueba de Resistencia de Aislamiento: Utilizar un comprobador de resistencia de aislamiento (se recomienda el rango de CC 1000V) para medir la resistencia de aislamiento de la cadena a tierra, confirmando que cumple con los valores especificados en la norma correspondiente
- ✧ Emitir Informe Anual de O&M: Recopilar los datos de inspección del año, los registros de manejo de fallas y las tendencias de degradación del rendimiento para producir el Informe Anual de Análisis de Operación y Mantenimiento de la Central Fotovoltaica

### **3.3 Inspecciones Especiales**

Las inspecciones especiales deben organizarse inmediatamente después de eventos climáticos extremos o condiciones operativas especiales:

- ✧ Después de Tormentas Eléctricas: Usar una cámara termográfica para verificar si las temperaturas de las cajas de conexión de los módulos en áreas de riesgo de rayos están anormalmente elevadas; comprobar si los dispositivos de protección contra rayos se han activado
- ✧ Después de Vientos Fuertes: Verificar si las abrazaderas y fijaciones de los módulos se han desprendido o aflojado; si los módulos han sido volteados o desplazados por el viento; y si la capa impermeabilizante del techo está intacta
- ✧ Después de Granizo/Nieve: Inspeccionar los módulos uno por uno para detectar grietas o roturas causadas por el impacto del granizo; verificar si hay deformación de los módulos debido a la carga de nieve

- ✧ Después de Tormentas de Arena: Verificar si hay marcas de impacto de arena en las superficies de los módulos; programar rápidamente operaciones de limpieza para eliminar el polvo acumulado en la superficie

## 4. Limpieza de Módulos Fotovoltaicos

### 4.1 Determinación de la Frecuencia y el Momento de Limpieza

1. Frecuencia de Limpieza Rutinaria: En general, los módulos deben limpiarse al menos una vez al mes para mantener la limpieza de la superficie. En áreas con polvo severo (dentro de un radio de 50 metros), como plantas de cemento, zonas mineras y a lo largo de caminos polvorientos, la frecuencia de limpieza debe aumentarse a al menos una vez cada medio mes.
2. Condiciones de limpieza basadas en disparadores: Cuando la generación de la central eléctrica disminuya más del 5% respecto a los niveles normales, y se hayan descartado fallos en los equipos y factores meteorológicos, se deben limpiar los módulos. También se debe programar la limpieza cuando se cumpla alguna de las siguientes condiciones:
  - ◆ La inspección visual muestra que la superficie del módulo está visiblemente sucia con una capa de polvo apreciable
  - ◆ La comparación de la generación de energía entre cadenas limpias y cadenas por limpiar en el mismo momento muestra una desviación  $\geq 4\%$
  - ◆ La potencia de salida del conjunto fotovoltaico cae por debajo del 85% del estado inicial (potencia al finalizar la última limpieza)
3. Ventana de tiempo óptima para la limpieza: Las operaciones de limpieza deben realizarse cuando la irradiancia sea inferior a  $200 \text{ W/m}^2$ . Se recomienda hacerlo temprano en la mañana, al final de la tarde o en días nublados. Está estrictamente prohibido limpiar módulos fotovoltaicos bajo condiciones climáticas con viento de fuerza superior a 4, lluvia intensa o nieve intensa.

### 4.2 Requisitos de calidad del agua de limpieza

El agua de limpieza debe cumplir con los siguientes estándares para evitar la formación de incrustaciones o corrosión en la superficie del módulo:

- Dureza total (como  $\text{CaCO}_3$ ):  $\leq 200 \text{ mg/L}$
- Sólidos disueltos totales (TDS):  $\leq 500 \text{ mg/L}$
- Valor de pH:  $6.5 \sim 8.5$
- Sólidos en suspensión:  $\leq 50 \text{ mg/L}$
- Cloruros (como  $\text{Cl}^-$ ):  $\leq 250 \text{ mg/L}$

Nota: Cuando las condiciones lo permitan, se debe utilizar preferentemente agua ablandada o desionizada para la limpieza, para prevenir desde el origen la formación de depósitos de incrustaciones difíciles de eliminar en la superficie del módulo.

### 4.3 Procedimiento estándar de limpieza

#### Paso 1: Preparación

- ✧ El personal de limpieza deberá usar equipo de protección personal completo, que incluya guantes aislantes, botas aislantes, casco de seguridad y arnés de seguridad.
- ✧ Verificar que las herramientas de limpieza (pañó suave, rodillo suave, cubeta de agua limpia, detergente neutro, etc.) estén completas y limpias.

- ✧ Confirmar que se hayan colocado señales de advertencia en el área de limpieza y que no se permita la entrada de personal no autorizado a la zona de trabajo.
- ✧ Verificar que las condiciones meteorológicas cumplan con los requisitos para las operaciones de limpieza (sin lluvia ni nieve, velocidad del viento inferior a 4 en la escala Beaufort, irradiancia inferior a 200 W/m<sup>2</sup>).

### **Paso 2: Enjuague inicial**

- ✧ Enjuague la superficie del módulo con agua limpia de arriba a abajo para eliminar el polvo suelto y los residuos
- ✧ Evite diferencias significativas de temperatura entre el agua de limpieza y la temperatura de la superficie del módulo (se recomienda que la diferencia de temperatura no supere los 10 °C) para evitar daños por choque térmico en los módulos
- ✧ Está estrictamente prohibido utilizar un chorro de agua a alta presión a corta distancia dirigido a las juntas de la caja de conexiones y los conectores para enjuagar

### **Paso 3: Limpieza profunda**

- ✧ • Para suciedad general, limpie suavemente en una sola dirección con un paño suave o un rodillo suave humedecido con agua limpia; evite frotar repetidamente de un lado a otro
- ✧ • Cuando haya adherentes difíciles como manchas de aceite en la superficie del módulo, use un detergente líquido neutro no abrasivo (pH 6.0~8.0) para ayudar en la limpieza
- ✧ • Está prohibido usar solventes orgánicos que contengan componentes ácidos o alcalinos para limpiar los módulos
- ✧ • Está prohibido usar herramientas duras como cepillos de alambre, lana de acero o raspadores metálicos para limpiar la superficie del módulo
- ✧ • Está prohibido usar limpiadores a vapor o chorros de agua a alta temperatura
- ✧ • Está prohibido sumergir todo el módulo en agua

### **Paso 4: Enjuagar y Secar**

- ✧ • Enjuague a fondo la superficie del módulo con abundante agua limpia para asegurarse de que no queden residuos de detergente
- ✧ • Use un paño suave y limpio (se recomienda un paño de microfibra) para secar las gotas de agua residuales de la superficie del módulo; evite el secado al aire natural, ya que puede dejar manchas de agua
- ✧ • La parte posterior del módulo generalmente no requiere limpieza; si es necesario limpiar la parte posterior, se debe tener especial cuidado para evitar que la solución de limpieza penetre en el interior del módulo o en las superficies de sellado de la caja de conexiones

### **Paso 5: Verificación de la Eficacia de la Limpieza**

- ✧ • Se puede seleccionar primero una cadena representativa con la mayor acumulación de suciedad para limpiarla como referencia
- ✧ • Si la mejora en la potencia después de la limpieza es inferior al 5%, generalmente no es necesario realizar una limpieza completa de todo el conjunto en las condiciones actuales
- ✧ • La verificación anterior debe realizarse en condiciones de irradiancia estable (clima despejado, irradiancia estable, sin nubes) para garantizar la validez de los datos de comparación

## **4.4 Requisitos de Inspección Posterior a la Limpieza**

### **4.4.1 Inspección Visual**

- ✧ • El aspecto general de los módulos debe ser visualmente limpio y brillante, libre de manchas residuales y marcas de agua
- ✧ • Realizar verificaciones puntuales de acumulación de polvo residual en la superficie del módulo
- ✧ • Confirmar que no haya nuevas marcas de rayones en la superficie del módulo
- ✧ • Confirmar que no haya grietas o daños causados por personas en la superficie del módulo

#### **4.4.2 Inspección Estructural**

- ✧ • Verificar si los módulos limpios presentan inclinación o curvatura
- ✧ • Verificar si los terminales del módulo muestran signos de desprendimiento o aflojamiento
- ✧ • Verificar si los conectores permanecen secos y limpios, y si los anillos de sellado están intactos

#### **4.4.3 Registros y Archivo**

Completar el Registro de Limpieza de Módulos Fotovoltaicos, incluyendo: fecha de limpieza, personal de limpieza, alcance de la limpieza (números de string), método de limpieza, consumo de agua y datos de comparación de potencia del string antes y después de la limpieza, entre otros.

## **5. Diagnóstico de Fallos Comunes y Solución de Problemas**

### **5.1 Degradación Anormal de la Potencia del Módulo**

#### Síntomas de la Falla

La potencia de salida del módulo es significativamente inferior a la potencia nominal, y la tasa de degradación de potencia supera el rango normal (degradación del primer año > 1%, degradación anual del año 2 al año 30 > 0,4%), o se produce una caída rápida e inesperada de la potencia en un período corto.

#### Análisis de Causas de la Falla

- ✧ Los módulos operan durante largos períodos en entornos de alta temperatura y alta humedad, lo que acelera el envejecimiento de las células y los materiales de encapsulación.
- ✧ Acumulación prolongada de polvo y suciedad sin limpiar en la superficie del módulo, lo que provoca una disminución continua de la transmitancia de luz.
- ✧ Microgrietas internas en las células y rotura de los dedos de la rejilla dentro del módulo, lo que afecta la recolección efectiva de la corriente fotogenerada.
- ✧ Fallo del diodo de derivación dentro de la caja de conexiones (fallo por cortocircuito o circuito abierto), lo que provoca que algunas cadenas de células dentro del módulo dejen de funcionar.
- ✧ Sombreado localizado persistente en la superficie del módulo, que desencadena efectos de punto caliente a largo plazo y causa una degradación permanente de las células.
- ✧ Mal contacto del conector o envejecimiento del cable, lo que provoca un aumento anormal de la resistencia en serie

#### Métodos de diagnóstico y resolución de problemas

- ✧ Prueba de potencia: Utilice un trazador de curvas IV profesional o un comprobador de potencia de módulos fotovoltaicos para medir la potencia de salida real del módulo, confirmando el grado de degradación de la potencia y el patrón anormal de la curva IV

- ✧ Inspección visual: Inspeccione cuidadosamente la superficie del módulo en busca de polvo, suciedad, rayones, grietas, etc.; verifique si la caja de conexiones está intacta y sin abultamientos o deformaciones
- ✧ Inspección por termografía: Utilice una cámara termográfica infrarroja para detectar si existen efectos de punto caliente y puntos de calentamiento anómalos en el módulo
- ✧ Inspección EL: Realice una inspección por imagen de electroluminiscencia (EL) en los módulos con sospecha de defectos internos para confirmar la presencia de microdefectos como microgrietas, dedos de rejilla rotos y soldaduras frías
- ✧ Si es causado por acumulación de polvo/suciedad en la superficie → Programar la limpieza de inmediato
- ✧ Si es causado por sombreado localizado → Eliminar la fuente de sombreado y optimizar el entorno circundante del módulo
- ✧ Si el diodo interno de la caja de conexiones está dañado → Reemplazar con una caja de conexiones del mismo modelo (debe ser realizado por personal autorizado de ZKFN SOLAR)
- ✧ Si el módulo presenta envejecimiento severo (degradación de potencia superior al 20%) o defectos internos irreversibles → Reemplazar el módulo
- ✧ Si el módulo aún está dentro del período de garantía y se confirma que es un problema de calidad del producto → Enviar una solicitud de servicio postventa a ZKFN SOLAR de acuerdo con los procedimientos de garantía

## 5.2 Efecto de Punto Caliente en el Módulo

### Síntomas de la Falla

La inspección con termografía infrarroja revela áreas localizadas del módulo con temperaturas significativamente más altas que las áreas normales circundantes (diferencia de temperatura  $\geq 20$  °C). Los puntos calientes severos pueden causar decoloración y burbujeo de los materiales de encapsulación de la superficie del módulo, perforación de la lámina posterior, fusión y deformación de la caja de conexiones y, en casos extremos, pueden provocar llamas abiertas.

### Análisis de la Causa de la Falla

- ✧ Presencia de objetos de sombreado localizados en la superficie del módulo (hojas, excrementos de aves, acumulaciones de polvo, sombras de edificios, etc.); las celdas sombreadas pasan de ser unidades generadoras de energía a cargas consumidoras de energía, consumiendo la energía eléctrica generada por las celdas normales adyacentes y formando altas temperaturas localizadas
- ✧ Degradación del rendimiento de celdas individuales dentro del módulo (disminución de la eficiencia, aumento de la resistencia en serie), creando un desajuste eléctrico con otras celdas normales en la misma cadena
- ✧ Celdas que presentan microdefectos como microgrietas y dedos de rejilla rotos, donde el flujo de corriente local obstruido conduce a un calentamiento concentrado
- ✧ Fallo del diodo de derivación, incapaz de derivar y proteger la cadena de celdas sombreadas cuando ocurre el sombreado

### Medidas de Tratamiento

**Tratamiento Inmediato:** Retire inmediatamente los objetos que generen sombreado de la superficie del módulo; desenergice y aisle los módulos con puntos calientes severos para evitar la escalada de fallos.

**Inspección y Evaluación:** Utilice una cámara termográfica infrarroja para determinar con precisión la ubicación y distribución de temperatura de los puntos calientes; realice una inspección EL en los módulos afectados por puntos calientes para evaluar el grado de daño interno en las celdas.

**Disposición Graduada:**

- ✧ Puntos calientes menores (diferencia de temperatura  $< 20^{\circ}\text{C}$ ) sin daño interno visible → Continúe el seguimiento y monitoreo después de retirar los objetos de sombreado; agregue a la lista de observación prioritaria para la próxima inspección.
- ✧ Puntos calientes moderados (diferencia de temperatura  $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ) → Se recomienda desarrollar un plan de reemplazo y completar el reemplazo durante la próxima parada programada.
- ✧ Puntos calientes severos (diferencia de temperatura  $\geq 40^{\circ}\text{C}$ ) o módulos que ya muestren daño visible en su apariencia → Deben ser retirados de servicio y reemplazados de inmediato.

### **Medidas Preventivas**

- ✧ Durante la fase de diseño e instalación del conjunto de módulos, se deben planificar racionalmente las distribuciones para evitar el sombreado entre módulos.
- ✧ Limpie periódicamente la vegetación y los residuos alrededor de los módulos que puedan formar fuentes de sombreado.
- ✧ Asegúrese de que la funcionalidad del diodo de derivación del módulo permanezca intacta; verifique periódicamente de forma indirecta mediante pruebas de curva IV.
- ✧ Realizar inspecciones integrales de termografía infrarroja de forma trimestral, establecer un archivo de referencia de temperatura de los módulos e identificar oportunamente las tendencias anómalas de temperatura

## **5.3 Fallas en el Cableado y Conectores de los Módulos**

### **Síntomas de Falla**

Tensión y corriente de salida del módulo inestables o completamente ausentes; temperaturas anormalmente elevadas en terminales y conectores (calientes al tacto o puntos calientes visibles en termografía infrarroja); decoloración por oxidación y marcas de quemadura por arco eléctrico en las superficies de los terminales; en casos graves, fusión y deformación de las carcasas de plástico de los conectores con olor a quemado.

### **Análisis de Causas de Falla**

- ✧ Conectores no acoplados completamente en su posición, lo que resulta en un aumento de la resistencia de contacto y calentamiento localizado
- ✧ Fallo del sello del conector (envejecimiento, daño o desprendimiento del anillo de sellado), con intrusión de humedad y polvo que provoca oxidación y corrosión de los pines
- ✧ Conectores macho y hembra de diferentes fabricantes o de diferentes series de modelos, lo que resulta en grandes tolerancias de ajuste de la interfaz y contacto no fiable
- ✧ Cables de salida con la capa de aislamiento envejecida, agrietada y dañada debido a la exposición prolongada, causando fugas eléctricas o cortocircuitos
- ✧ Errores de cableado (polaridad positiva y negativa invertida) o topología de cableado de cadena incorrecta
- ✧ Conectores bajo tensión prolongada del cable, provocando aflojamiento interno de los pines

### **Procedimiento de solución de problemas**

- ✧ Desenergización segura: Primero desconecte la fuente de alimentación del cuadro combinador y del inversor correspondientes, realice la verificación de desenergización (verifique con un multímetro) y coloque señales de advertencia de "No cerrar"
- ✧ Localización de la falla: Use un multímetro para probar secuencialmente la continuidad, el voltaje y los valores de resistencia de contacto en cada terminal, localizando el punto de falla
- ✧ Terminal flojo → Vuelva a apretar al par especificado utilizando herramientas especializadas (aplique la fuerza adecuada para evitar daños por apriete excesivo)
- ✧ Oxidación/Corrosión del terminal → Corte la sección dañada y reemplácela con un conector nuevo del mismo modelo y especificación
- ✧ Desajuste del modelo del conector → Reemplace todos los conectores con modelos compatibles certificados por ZKFN SOLAR
- ✧ Daño en el cable → Reemplace con un cable de CC específico para fotovoltaica de la misma especificación, asegurándose de que el calibre del cable y la clasificación de voltaje coincidan con los originales
- ✧ Error de cableado → Vuelva a cablear según las marcas correctas de polaridad positiva/negativa y el diagrama de cableado de la cadena
- ✧ Restauración y verificación: Después de completar el cableado, restaure la alimentación, mida el voltaje de circuito abierto de la cadena, la corriente de cortocircuito y la corriente de operación, confirmando que la falla se ha eliminado y los parámetros son normales

## 5.4 Diagnóstico de Fallos en el Lado del Inversor y a Nivel de Cadena

### Síntomas de Fallo

El sistema de monitoreo muestra una potencia de salida persistentemente baja o nula para una cadena específica; el inversor reporta fallo de resistencia de aislamiento demasiado baja, alarmas de sobretensión/subtensión de CC; la corriente de la cadena se desvía significativamente del nivel promedio de otras cadenas en el mismo conjunto.

### Pasos de Diagnóstico

- ✧ Paso 1: Identificar el número de la cadena con fallo y su ubicación física correspondiente a través de la plataforma de monitoreo
- ✧ Paso 2: En condiciones seguras de desconexión de energía, medir la tensión de circuito abierto (Voc) de la cadena y compararla con cadenas normales en el mismo conjunto. Si Voc es significativamente menor, esto indica cortocircuito en el módulo, cortocircuito en el diodo de derivación o daño severo en el módulo dentro de la cadena
- ✧ Paso 3: Medir la corriente de cortocircuito (Isc) de la cadena. Si Isc es significativamente menor, puede haber acumulación severa de polvo en los módulos, sombreado, envejecimiento o mal contacto en los conectores
- ✧ Paso 4: Medir la cadena segmento por segmento, reduciendo progresivamente el rango del fallo hasta localizar el módulo problemático específico
- ✧ Paso 5: Realizar diagnósticos adicionales como pruebas de curva IV e inspección EL en el módulo problemático identificado, determinar el tipo de fallo y tomar las medidas de tratamiento correspondientes

## 6. Reparación y Reemplazo de Módulos

### 6.1 Requisitos Generales para el Reemplazo de Módulos

1. **Identificación y Mitigación de Riesgos:** Antes de las operaciones de reemplazo, se deben identificar de manera integral los riesgos potenciales durante el proceso de operación, incluidos, entre otros: cortes al personal por manipulación de herramientas, caídas desde altura (para trabajos en azoteas o en altura), riesgos de descarga eléctrica durante la desconexión/restauración del circuito y salpicaduras de escombros durante la extracción de módulos viejos, etc. Se deben desarrollar medidas de mitigación específicas para cada riesgo.
2. **Charla de Seguridad Previa al Trabajo:** Se debe realizar una "Charla de Seguridad Previa al Trabajo" antes de cada operación de reemplazo. El supervisor de trabajo explicará a todo el personal participante el contenido del trabajo del día, las asignaciones de tareas específicas, las precauciones de seguridad y los procedimientos de respuesta a emergencias. Se realizarán registros por escrito y todo el personal deberá firmarlos antes de que pueda comenzar el trabajo.
3. **Verificación del Módulo Nuevo:** Antes del reemplazo, cada módulo nuevo debe inspeccionarse individualmente en cuanto a su apariencia (confirmando que no tenga rayones superficiales, grietas, deformaciones y que los terminales estén intactos sin defectos). Se debe verificar que el modelo del módulo, la potencia nominal, los parámetros eléctricos y otra información de la placa de características coincidan con el módulo viejo, asegurando la compatibilidad eléctrica entre los módulos viejos y nuevos antes de que puedan ponerse en servicio.
4. **Conducta Profesional:** Está prohibido usar fuerza excesiva para hacer palanca, golpear o doblar módulos a la fuerza, para evitar causar roturas del módulo o lesiones al personal. Durante el proceso de extracción, se debe tener cuidado de proteger las superficies de los módulos adyacentes y las conexiones eléctricas de daños.
5. **Eliminación de Residuos:** Los módulos de desecho, fragmentos de vidrio, accesorios dañados y otros artículos generados por el reemplazo deben recolectarse por separado y almacenarse de forma centralizada. Los módulos dañados deben ser eliminados profesionalmente de acuerdo con los requisitos de gestión de residuos peligrosos. Se prohíbe la eliminación aleatoria o la mezcla con residuos de construcción ordinarios.

## **6.2 Procedimiento de Reemplazo para Módulos Montados con Adhesivo**

Aplicable a módulos SolarPega / SolarPegaL (sin marco). Los pasos de reemplazo específicos son los siguientes:

1. **Preparación del Plan:** Antes del reemplazo del módulo, se debe preparar un Plan de Implementación de Reemplazo de Módulos Rígidos Livianos, definiendo el proceso operativo, las asignaciones de personal, las medidas de seguridad y los criterios de aceptación de calidad.
2. **Confirmación de Desenergización:** Antes de comenzar el trabajo, se debe desconectar la fuente de alimentación del inversor y del combinador correspondiente al módulo. Se debe colgar un letrero de advertencia "No Cerrar, Personal Trabajando" en el punto de desconexión. Un electricista certificado debe usar un multímetro para verificar la ausencia de voltaje en ambos lados del punto de desconexión antes de que pueda comenzar el trabajo posterior.
3. **Cubrimiento del módulo:** Cubra completamente la superficie frontal del módulo a reemplazar con material opaco (como paño negro bloqueador de luz o cartón grueso) para bloquear la luz y evitar que el módulo genere alto voltaje.
4. **Desconexión eléctrica:** Utilice herramientas de desbloqueo especializadas para separar los conectores positivo y negativo del módulo; realice marcas en los cables.

5. Retiro del módulo antiguo: Use herramientas como cuchillas multiusos y espátulas para cortar cuidadosamente el adhesivo estructural a lo largo de la interfaz de unión, separando gradualmente el módulo antiguo del sustrato del techo. Durante la operación, controle la fuerza y el ángulo para evitar dañar los módulos circundantes y la capa impermeabilizante del techo
6. Limpieza del sustrato: Elimine completamente los residuos de adhesivo estructural y escombros del sustrato del techo, asegurando que la superficie de unión esté seca, limpia y plana. Si es necesario, realice un tratamiento de lijado en el sustrato para restaurar la rugosidad superficial
7. Instalación del módulo nuevo: Siga estrictamente los procedimientos estandarizados del Manual de Instalación de Módulos Fotovoltaicos ZKFN SOLAR SolarPega y SolarPegaF Series para la aplicación de adhesivo, colocación del módulo, prensado con rodillo y posicionamiento
8. Protección durante el curado: Durante el período de curado del adhesivo estructural (24 horas a temperatura ambiente de 25°C~40°C, 48 horas a 10°C~25°C, 72 horas a 0°C~10°C), está estrictamente prohibido aplicar cualquier perturbación al módulo, incluyendo pero no limitándose a mover el módulo, conectar cables o realizar otros trabajos mientras se está parado sobre el módulo. Se instalarán barreras protectoras y señales de advertencia en el área de reemplazo
9. Conexiones eléctricas: Después de que el adhesivo estructural haya curado completamente, reconecte los conectores según la correspondencia correcta de polaridad positiva/negativa marcada, asegurándose de que estén completamente insertados y se escuche un clic audible de bloqueo
10. Prueba de encendido: Retire el material de cobertura, cierre el interruptor para restaurar el suministro eléctrico. Use un multímetro o un trazador de curva IV para medir los parámetros de salida del módulo nuevo, confirmando la compatibilidad con otros módulos en la misma cadena y el funcionamiento normal
11. Registros y archivo: Registre en detalle la fecha de reemplazo, motivo del reemplazo, número de serie del módulo antiguo y tipo de falla, número de serie del módulo nuevo y datos de prueba iniciales, información del personal operativo, etc.; actualice el archivo de operación y mantenimiento de la central eléctrica

### **6.3 Procedimiento de reemplazo para módulos montados con abrazaderas/soportes**

Aplicable a módulos SolarPegaF / SolarPegaFL (con marco trasero). Los pasos específicos de reemplazo son los siguientes:

1. Preparación del Plan: Antes del reemplazo del módulo, se debe elaborar un Plan de Implementación de Reemplazo de Módulo Rígido Ligero Fijado con Abrazadera, definiendo el proceso operativo y las medidas de seguridad.
2. Confirmación de Desenergización: Igual que el Requisito 2 del Procedimiento de Reemplazo con Montaje Adhesivo.
3. Cubrimiento del Módulo: Igual que el Requisito 3 del Procedimiento de Reemplazo con Montaje Adhesivo.
4. Desconexión Eléctrica: Igual que el Requisito 4 del Procedimiento de Reemplazo con Montaje Adhesivo.
5. Retiro del Módulo Antiguo: Use una llave dinamométrica para aflojar y retirar los pernos de fijación de la abrazadera hasta el par especificado, retire las abrazaderas en secuencia y

saque con cuidado el módulo antiguo de la superficie de instalación. Durante la operación, tenga cuidado de evitar colisiones con los módulos circundantes.

6. Inspección de la Superficie de Instalación: Limpie los residuos y el óxido de la superficie de instalación; verifique si las abrazaderas/soportes presentan deformación, óxido o holgura. Si se encuentran anomalías, primero se deben reparar o reemplazar los accesorios dañados antes de continuar con el siguiente paso.
7. Instalación del Módulo Nuevo: Coloque el módulo nuevo en la ubicación designada, ajustando la posición del módulo para garantizar espacios periféricos uniformes. Instale las abrazaderas en secuencia, apretando uniformemente los pernos M8 a un par de 15~20 N·m. Tenga en cuenta que las abrazaderas deben presionar sobre el área de carga designada del marco trasero del módulo y no deben presionar sobre el área efectiva de las celdas superior.
8. Conexiones Eléctricas: Igual que el Requisito 9 del Procedimiento de Reemplazo con Montaje Adhesivo.
9. Prueba de Encendido: Igual que el Requisito 10 del Procedimiento de Reemplazo con Montaje Adhesivo.
10. Registros y archivo: Igual que el Requisito 11 del Procedimiento de Reemplazo por Montaje Adhesivo

#### **6.4 Verificación del Sistema Después del Reemplazo del Módulo**

Después de completar el reemplazo del módulo, además de las pruebas individuales del nuevo módulo, se debe verificar el rendimiento general de la cadena afectada:

- ✧ Medir la tensión de circuito abierto (Voc) y la corriente de cortocircuito (Isc) de la cadena, comparándolas con los valores de diseño de la cadena y con cadenas normales en el mismo conjunto
- ✧ Monitorear la corriente de operación de la cadena para confirmar una buena coincidencia de corriente entre el nuevo módulo y los módulos existentes en la cadena
- ✧ Observar los datos de generación de energía durante al menos un día completo de sol para confirmar que la potencia de la cadena se ha recuperado a niveles normales
- ✧ Si las condiciones lo permiten, realizar un escaneo de imágenes térmicas infrarrojas del área del módulo recién reemplazado para confirmar la ausencia de puntos de calentamiento anormales

### **7. Medidas de Respuesta a Emergencias**

#### **7.1 Respuesta de Emergencia ante Fugas Eléctricas en Módulos**

Ante la detección de una alarma de fuga eléctrica en un módulo o una situación sospechosa de fuga, el personal de operación y mantenimiento debe ejecutar de inmediato los siguientes procedimientos de manejo:

- ✧ • Evacuación de emergencia del personal: Aléjese inmediatamente del área de fuga; no toque el módulo con fugas ni sus componentes metálicos circundantes; al mismo tiempo, evite que otras personas ingresen
- ✧ Desenergización segura: Profesionales certificados que usen guantes aislantes clasificados para el nivel de voltaje adecuado deberán utilizar una varilla de operación aislada para desconectar la caja combinadora y la fuente de alimentación del inversor correspondientes, y colocar señales de advertencia
- ✧ Detección de fallas: Use un probador de resistencia de aislamiento (rango de 1000 V CC) para medir la resistencia de aislamiento a tierra de la cadena con fugas segmento por

segmento, utilizando el método de eliminación por secciones para localizar el módulo con fugas

- ✧ Investigación de la causa: Inspeccione el módulo con fugas para detectar condiciones como entrada de agua en la caja de conexiones, falla del sello del conector, daño en el aislamiento del cable y daño por penetración en la lámina posterior
- ✧ Disposición de reparación: Reemplace el módulo defectuoso, los cables dañados o los conectores según la causa de la fuga. Una vez completada la reparación, vuelva a probar la resistencia de aislamiento para confirmar que se haya restaurado a niveles aceptables
- ✧ Restauración de energía: Solo después de que todas las pruebas se hayan superado, se podrán retirar las señales de advertencia y restaurar la energía. Después de la restauración de energía, se deberá realizar un monitoreo continuo durante al menos 1 hora para confirmar la ausencia de anomalías

## 7.2 Respuesta de emergencia ante incendio de módulos

Los módulos de la serie SolarPega de ZKFN SOLAR han superado las pruebas y la certificación del estándar UL790 Clase C para rendimiento contra incendios, demostrando una buena resistencia al fuego. Si ocurre un incidente de incendio de módulos en el sitio de operación y mantenimiento, se deberán seguir los siguientes procedimientos:

- ✧ Desconecte inmediatamente todas las fuentes de alimentación del lado de CC y del lado de CA del sistema fotovoltaico afectado por el incendio
- ✧ Si el incendio es pequeño y las condiciones de seguridad lo permiten, use un extintor de polvo seco o un extintor de dióxido de carbono para suprimir el fuego en su origen. Está estrictamente prohibido usar agua o extintores de espuma directamente sobre los módulos y equipos eléctricos energizados
- ✧ Si el incendio es demasiado grande para controlarlo de forma independiente, llame inmediatamente al 119 para reportar el incendio, comunicando claramente información clave como "incendio en central fotovoltaica, peligro de alto voltaje en CC", y organice la evacuación de todo el personal a un área segura.
- ✧ Una vez extinguido el incendio, realice una investigación sistemática de la causa del incendio, evalúe el nivel de daño de cada módulo y equipo eléctrico, y prepare el Análisis del Incidente de Incendio y el Plan de Restauración.
- ✧ Solo después de confirmar que se han eliminado todos los peligros de seguridad (incluyendo la seguridad estructural, el aislamiento eléctrico y la integridad de los módulos), se podrá restaurar gradualmente la operación de la central según el plan de restauración.

## 7.3 Respuesta a Emergencias por Clima Extremo

### 7.3.1 Tormenta/Inundación

- ✧ Después de que se emita una advertencia de tormenta, inspeccione y limpie los residuos de los canalones de drenaje y bajantes del techo para asegurar que el sistema de drenaje esté despejado.
- ✧ Proporcione protección impermeable o reubique los inversores, cajas combinadoras, hosts de monitoreo y otros equipos en interiores o en áreas bajas a una elevación segura.
- ✧ Durante la tormenta, cese todas las operaciones de O&M en exteriores. Si ocurre una inundación en la central, desconecte inmediatamente todas las fuentes de alimentación de forma remota o en el lugar.
- ✧ • Después de que las aguas de la inundación retrocedan, realice un tratamiento de secado, limpieza y pruebas de aislamiento en todos los módulos, cables, conectores y equipos

eléctricos afectados por el agua. Solo después de confirmar la ausencia de peligros de seguridad se podrá restaurar gradualmente las operaciones.

### 7.3.2 Vientos Fuertes/Tifón

- ✧ Después de que se emita una advertencia de viento fuerte, inspeccione exhaustivamente el estado de fijación de las abrazaderas y soportes de los módulos, y refuerce cualquier perno suelto
- ✧ Retire los objetos sueltos alrededor del conjunto de módulos que podrían ser levantados por el viento (carteles publicitarios, cubiertas temporales, materiales sueltos, etc.)
- ✧ Durante el tifón, apague la fuente de alimentación de la central eléctrica y evacue a todo el personal a un área segura
- ✧ Después del evento de viento, inspeccione exhaustivamente los módulos para detectar desplazamientos, desprendimientos, deformaciones y daños; inspeccione si los soportes de montaje y las estructuras del techo están intactos. Repare las áreas dañadas y solo reinicie la central eléctrica después de pasar una inspección completa

### 7.3.3 Ventisca/Baja Temperatura

- ✧ Durante una ventisca, use periódicamente un empujador de nieve suave (material de silicona o caucho) para limpiar la nieve acumulada de las superficies de los módulos. Durante la operación, tenga cuidado de evitar que la herramienta golpee las cajas de conexiones y los conectores
- ✧ En entornos de baja temperatura, verifique si los conectores y terminales muestran signos de formación de hielo. Si se ha formado hielo, espere a que se descongele naturalmente y se seque completamente antes de realizar operaciones
- ✧ Al limpiar la nieve, está estrictamente prohibido pisar los módulos (Se permite pisarlo siempre que se cumplan las condiciones de instalación para pisarlo. Consulte las instrucciones de trabajo de instalación para más detalles), para evitar causar microgrietas en las celdas internas o daños en la estructura de encapsulado
- ✧ Después de eventos de nieve, inspeccione las superficies de los módulos para detectar grietas o deformaciones causadas por la carga de nieve o ciclos de congelación-descongelación; los módulos dañados deben programarse para su reemplazo de inmediato

### 7.4 Respuesta de Emergencia a Rayos

La temporada de tormentas eléctricas es un período de alto riesgo para que las centrales fotovoltaicas sufran impactos de rayos. Si el sistema de monitoreo muestra una interrupción generalizada de la comunicación de los módulos, disparo de inversores, o la inspección en sitio revela marcas evidentes de impacto de rayos en los módulos (como perforación en la caja de conexiones, puntos de quemadura por arco en la superficie del módulo), se deben iniciar de inmediato los siguientes procedimientos de manejo:

- ✧ Desconectar inmediatamente todas las fuentes de alimentación de la central; el personal debe evacuar rápidamente a un área interior segura
- ✧ Después de que pase la tormenta, inspeccionar exhaustivamente el sistema de protección contra rayos y puesta a tierra: verificar si los conductores de bajada a tierra están rotos o fundidos; medir si la resistencia de puesta a tierra aún cumple con los requisitos de diseño (generalmente se requiere que sea  $\leq 4\Omega$ )
- ✧ Inspeccionar la apariencia de los módulos uno por uno; usar una cámara termográfica infrarroja para escanear puntos de calentamiento anómalos

- ✧ Medir la resistencia de aislamiento y las características IV de las cadenas afectadas por impactos de rayos; reemplazar los módulos que hayan sido perforados o que tengan un rendimiento gravemente degradado
- ✧ Inspeccionar si los dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD) dentro de los inversores y cajas combinadoras se han activado o dañado; si están dañados, deben reemplazarse de inmediato

## **8. Gestión de Registros y Archivos de O&M**

### **8.1 Sistema de Gestión de Registros de O&M**

La integridad y precisión de los registros de O&M constituyen la base para la gestión de activos de la central, reclamaciones de garantía, evaluación de rendimiento y rastreo de fallas. Se recomienda establecer principios de gestión de archivos de "cobertura de ciclo de vida completo, sistemas duales electrónicos y en papel, igual énfasis en seguridad y utilización". A través de la recopilación estandarizada de registros y la gestión regulada de archivos, lograr la trazabilidad del proceso de O&M, la localización de problemas y la capacidad de apoyo a la toma de decisiones, formando un bucle cerrado de gestión de "Registro – Archivo – Utilización – Optimización".

Los registros de O&M deben cubrir las siguientes categorías:

- ✧ Registros de Inspección: Registrar fecha de inspección, personal inspector, alcance de la inspección (cadenas/áreas), resultados de la inspección (estado de apariencia de los módulos, datos de parámetros operativos, problemas identificados y manejo en sitio), seguimiento de problemas no resueltos
- ✧ Registros de Limpieza: Registrar fecha de limpieza, personal de limpieza, alcance de la limpieza, método de limpieza, consumo y calidad del agua, datos comparativos de potencia de cadenas representativas antes y después de la limpieza
- ✧ Registros de Manejo de Fallas: Registrar fecha y hora de ocurrencia de la falla, número de serie y ubicación del módulo con falla, descripción del síntoma de la falla, análisis de la causa de la falla, métodos y pasos específicos de manejo, resultados del manejo, firma del personal de reparación, lista de materiales y repuestos utilizados para la reparación
- ✧ Registros de Reemplazo de Módulos: Registrar fecha de reemplazo, información del módulo antiguo reemplazado (número de serie, modelo, años en servicio, tipo de falla), información del módulo nuevo (número de serie, modelo, datos de prueba de rendimiento eléctrico inicial), personal operativo del reemplazo
- ✧ Registros de Respuesta a Emergencias: Registrar la hora y ubicación del incidente de emergencia, tipo y gravedad del incidente, medidas específicas de respuesta a emergencias y proceso de ejecución, resultados de la respuesta y evaluación de impacto posterior, personal involucrado en la respuesta
- ✧ Registros de Pruebas Especializadas: Registrar la fecha, alcance, método, datos brutos y conclusiones del análisis de pruebas especializadas como pruebas de curva IV, inspección EL, escaneo de termografía infrarroja y pruebas de resistencia de aislamiento

### **8.2 Clasificación y Archivo**

Se recomienda que la gestión de archivos adopte un sistema de clasificación de cuatro niveles de "Clasificación Primaria – Clasificación Secundaria – Grupo de Archivos – Documento":

- ✧ Categoría de Archivos Básicos: Incluye documentación de fábrica de los módulos (certificado de conformidad, informe de prueba de fábrica, lista de parámetros técnicos), contratos de adquisición, acuerdos de garantía, planos de construcción del sistema, informes de

aceptación de finalización, etc. Los grupos de archivos se organizan por "Proyecto – Tipo de Equipo"

- ✧ Categoría de Archivos de Procesos de O&M: Compila los diversos registros de O&M mencionados anteriormente, con grupos de archivos organizados por "Año – Tipo de O&M – Área". Entre estos, los registros de inspección se resumirán mensualmente y se encuadernarán en consecuencia; los registros de manejo de fallas se establecerán por separado como "un caso, un archivo", incluyendo materiales de respaldo como informes de prueba, fotografías comparativas antes y después de la reparación
- ✧ Categoría de Archivo de Monitoreo de Rendimiento: Almacena de forma separada datos de pruebas profesionales como curvas IV, inspecciones EL y escaneos de puntos calientes. Establece un "Registro de Rendimiento Específico por Módulo" indexado por número de serie del módulo, registrando los datos clave de rendimiento en cada punto de prueba a lo largo de todo el ciclo de vida, y elabora anualmente el Informe de Análisis de Degradación del Rendimiento de los Módulos
- ✧ Categoría de Archivo de Gestión de Cumplimiento: Incluye copias de certificados de calificación del personal de O&M, certificados de calibración de instrumentos de prueba, certificados de reciclaje y eliminación de módulos de desecho, registros de inspecciones regulatorias de la industria, registros de capacitación en seguridad, etc., garantizando que las actividades de O&M sean completamente conformes y trazables durante todo el proceso

### 8.3 Informe Anual de O&M

Cada año se debe preparar y presentar un Informe Anual Integral de Análisis de O&M de la Central Fotovoltaica. El informe debe contener al menos el siguiente contenido:

- ✧ Estadísticas anuales de generación de energía y análisis comparativo con los valores de diseño y el mismo período del año anterior
- ✧ Resumen estadístico anual de operaciones de inspección y limpieza (número de inspecciones, número de limpiezas, número y distribución por tipo de problemas identificados y resueltos)
- ✧ Análisis de tendencia de degradación del rendimiento de los módulos (basado en datos de curvas IV e inspecciones EL)
- ✧ Análisis estadístico de fallos (distribución por tipo de fallo, tasa de fallos, tiempo medio de reparación, evaluación del impacto en la generación de energía)
- ✧ Estadísticas anuales de costos de O&M, y recomendaciones de plan de O&M y presupuesto para el año siguiente
- ✧ Áreas clave de enfoque y recomendaciones de mejora para el año siguiente

## 9. Apéndice

### 9.1 Preguntas Frecuentes (FAQ)

**P1: ¿Cuál es el intervalo de mantenimiento recomendado para los módulos fotovoltaicos ligeros rígidos de la serie SolarPega de ZKFN SOLAR? ¿Cuáles son los principales puntos a revisar?**

R: Se recomienda realizar inspecciones exhaustivas al menos una vez al mes, verificando el rendimiento operativo de todos los módulos, la seguridad y fiabilidad de las conexiones eléctricas, la estabilidad de la estructura de montaje y la limpieza de la superficie de los módulos. Los principales puntos de inspección incluyen: integridad del aspecto del módulo, firmeza de las conexiones eléctricas, integridad de la caja de conexiones y conectores, limpieza de la superficie y condiciones de sombreado, estabilidad de la estructura de soporte de montaje, integridad del sistema de protección contra rayos y puesta a tierra, estado

operativo del sistema de monitoreo y normalidad de la potencia de salida de las cadenas. También se recomienda limpiar los módulos al menos una vez al mes para garantizar la eficiencia de generación de energía fotovoltaica.

**P2: Si aparece una pequeña cantidad de polvo en la superficie del módulo pero no ha alcanzado el umbral de activación de limpieza de una caída de potencia del 5%, ¿es necesaria la limpieza?**

R: Si la capa de polvo es fina y se pronostican lluvias a corto plazo, se puede posponer la limpieza mientras se monitorean continuamente las tendencias de potencia a través del sistema de monitoreo. Sin embargo, si la contaminación del aire local es severa, el polvo contiene sustancias adhesivas propensas a apelmazarse, o no se pronostican precipitaciones efectivas en la próxima semana, se recomienda programar la limpieza con anticipación para evitar que la acumulación prolongada de polvo se endurezca formando una costra, lo que aumentaría la dificultad de limpieza posterior y afectaría continuamente la transmitancia de luz.

**P3: Si los módulos se cubren de hielo en invierno, ¿se puede usar agua caliente directamente para derretir el hielo?**

R: Está estrictamente prohibido usar agua caliente para enjuagar o verter directamente sobre los módulos cubiertos de hielo. Los diferenciales severos de temperatura entre frío y calor causarán tensión de choque térmico en el panel de vidrio y los materiales de encapsulación, lo que podría provocar la rotura del vidrio del módulo o la falla de la capa de encapsulación. Se recomienda esperar a que la temperatura ambiente aumente para que el hielo se derrita naturalmente, o usar un raspador de hielo especializado de silicona/plástico (está estrictamente prohibido usar herramientas metálicas) para retirar suavemente el hielo superficial. Después de que el hielo se haya derretido completamente y la superficie del módulo esté seca, inspeccione el módulo en busca de signos de entrada de agua o daños.

**P4: Si la degradación de potencia del módulo excede el rango normal pero el módulo aún está dentro del período de garantía, ¿cómo solicito el servicio postventa?**

R: Primero, organice el archivo completo de operación y mantenimiento del módulo (incluyendo datos de inspección, informes de prueba de potencia de curva IV, fotografías de fallas, imágenes de inspección EL, etc.), contacte al departamento de servicio postventa de ZKFN SOLAR y presente el Formulario de Solicitud de Servicio Postventa en Período de Garantía con los materiales de respaldo relevantes. ZKFN SOLAR organizará la visita de personal técnico autorizado para realizar verificación y pruebas in situ. Una vez confirmado que el problema es un defecto de calidad del producto, se proporcionarán los servicios de reparación o reemplazo correspondientes de acuerdo con la política de garantía.

**P5: ¿Puede el personal de O&M pisar los módulos para limpieza o mantenimiento?**

R: Los módulos rígidos ligeros de la serie SolarPega de ZKFN SOLAR pueden ser pisados para mantenimiento bajo condiciones específicas sin causar daños a los módulos. Sin embargo, las operaciones de pisado deben cumplir estrictamente con las condiciones y requisitos técnicos relevantes (consulte el Manual de Instalación para condiciones específicas), incluyendo: restricciones del área de pisado, requisitos del material de la suela (zapatos de suela blanda), medidas de distribución de carga, etc. Antes de confirmar que se cumplen las condiciones, está estrictamente prohibido pisar directamente la superficie del módulo.

**P6: ¿Cómo determinar si un módulo necesita reemplazo en lugar de reparación?**

R: Los módulos deben reemplazarse directamente en lugar de repararse bajo cualquiera de las siguientes circunstancias: ① La superficie del módulo presenta grietas penetrantes o roturas extensas; ② La caja de conexiones está severamente derretida, deformada o

quemada; ③ La termografía infrarroja muestra puntos calientes severos (diferencia de temperatura  $\geq 40^{\circ}\text{C}$ ); ④ La inspección EL muestra microgrietas extensas en las celdas (el área de grietas supera el 30% del área de la celda); ⑤ La potencia de salida del módulo ha degradado más del 20% del valor nominal; ⑥ La entrada de agua dentro del módulo ha causado que la resistencia de aislamiento se mantenga persistentemente por debajo del valor estándar y no pueda recuperarse.

## 9.2 Lista de Verificación de Herramientas e Instrumentos Comunes de O&M

Las siguientes son herramientas comunes e instrumentos de prueba recomendados para la O&M de centrales fotovoltaicas:

- ✓ Multímetro Digital (clasificación CAT III 1500V) — Medición de voltaje CC, corriente y continuidad
- ✓ Amperímetro de CC tipo Pinza — Medición de la corriente de operación de la cadena sin interrumpir el circuito
- ✓ Trazador de Curva IV — Medición de la curva característica corriente-voltaje de módulos/cadenas
- ✓ Cámara de Termografía Infrarroja — Detección de puntos calientes, investigación de puntos de calentamiento en conectores
- ✓ Comprobador de Resistencia de Aislamiento (DC 500V/1000V) — Medición de la resistencia de aislamiento entre la cadena y tierra
- ✓ Equipo de Inspección EL — Detección de defectos internos como microgrietas en células, rotura de dedos de rejilla y soldaduras frías
- ✓ Llave Dinamométrica (0~30 N·m) — Verificación del par de apriete en conexiones eléctricas y pernos de sujeción
- ✓ Herramientas Especializadas de Montaje/Desmontaje para Conectores MC4 — Separación y acoplamiento seguros de conectores
- ✓ Comprobador de Resistencia de Puesta a Tierra — Prueba periódica de los sistemas de protección contra rayos y puesta a tierra
- ✓ Kit de Limpieza Específico para Fotovoltaica (rodillo suave, paño de microfibra, escobilla de goma para agua blanda, etc.)

## 9.3 Soporte Técnico e Información de Contacto

**Línea Directa de Servicio Postventa:** (+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)

**Correo Electrónico de Soporte Técnico:** tech-support@zkfnsolar.com

**Sitio Web Oficial:** www.zkfnsolar.com

**Dirección de la Base de Fabricación:** Edificio 1, Xinchenglin, Parque Industrial Inteligente Lvhaihui, Zona de Desarrollo Económico de Jining, Ciudad de Jining, Provincia de Shandong

## 9.4 Notas de Revisión del Manual

Este manual es la Versión A01, publicada el 9 de mayo de 2026. ZKFN SOLAR revisará y mejorará periódicamente el contenido del manual en función de las actualizaciones tecnológicas de los módulos, las actualizaciones de los estándares de la industria y los comentarios de los usuarios. Las versiones revisadas se publicarán a través del centro de descargas del sitio web oficial y se notificarán a los usuarios registrados por correo electrónico y otros canales. Los usuarios pueden obtener la versión más reciente de forma



gratuita. Si los usuarios descubren algún problema o tienen sugerencias de mejora al utilizar este manual, pueden enviar un correo electrónico a [tech-support@zkfsolar.com](mailto:tech-support@zkfsolar.com), y evaluaremos e incorporaremos rápidamente dichas sugerencias en el plan de revisión.

# Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

[www.zkfn-solar.com](http://www.zkfn-solar.com)

Línea de Atención al Cliente: (+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)